

# SPRESŇOVANIE POLÔH BODOV ŠTÁTNEJ NIVELAČNEJ SIETE NA ÚZEMÍ SR

## IMPROVEMENT OF HORIZONTAL POSITION OF LEVELLING POINTS ON THE TERRITORY OF SLOVAKIA

**Ing. Ján Bublavý, Ing. Branislav Droščák, PhD., Ing. Monika Polláková<sup>1)</sup>**

### **Abstract**

One of the development tasks for the geodetic controls of Slovakia is to create a new realization of the Baltic vertical system in accordance with the document: "The main development trends of the geodesy, cartography and cadastre for the years 2016 - 2020". First phase of its creation deals with improving the accuracy of the horizontal coordinates of the levelling points in the National leveling network in order to interpolate the gravity values from the complete Bouguer anomaly maps instead of their direct measurement. Improvement of horizontal position of the levelling points was realized in two stages in 2016 and 2017. The first step was based on determination of the indirect position of the levelling points by the ArcGIS software using the Basic database for the geographic information system and Vector cadastral map layers. The other points were directly measured by the GNSS technology, respectively by combination of GNSS and terrestrial measurement. This contribution describes two phases of the horizontal position improvement for the levelling points and the analysis of the final quality.

### **1 Úvod**

Podklad pre výpočet novej národnej realizácie výškového systému na Slovensku predstavujú okrem meraných nivelačných prevýšení aj ďalšie dôležité údaje o bodoch Štátnej nivelačnej siete (ďalej len ŠNS), ako napríklad ich poloha v záväznom súradnicovom referenčnom systéme. Poloha bodov ŠNS je dôležitá či už z praktického (vyhľadávanie bodov v teréne), legislatívneho (ochrana bodov) alebo výpočtového hľadiska (napr. generovanie opráv a redukcií z dostupných modelov). V minulosti sa na presnosť polohy bodov ŠNS nekládol veľký dôraz a zvyčajne boli súradnice bodov ŠNS určované kartometricky. V ojedinelých prípadoch sa pristúpilo aj k ich terestrickému zameraniu (špecializované stabilizácie a pod.), čiže určeniu ich polohových súradníc geodeticky. V súčasnosti sa poloha bodov ŠNS používa aj na iné ako zobrazovacie účely, kde kartometrická presnosť ich polohových súradníc častokrát nevyhovuje na ne kladeným požiadavkám. Zvýšiť presnosť polohových súradníc všetkých bodov ŠNS priamym meraním by bolo v súčasnosti z časového aj finančného hľadiska nákladné, preto bolo rozhodnuté na túto úlohu využiť vysokú polohovú presnosť vektorových (ojedinele rastrových) vrstiev ZBGIS, KN prípadne JŽM.

### **2 Súčasný stav presnosti polohových súradníc bodov ŠNS**

Budovanie ŠNS bolo spustené v rokoch 1995 – 1996, pričom išlo o „vyskladanie“ nových polygónov 1. a 2. rádu z bodov pôvodnej ČSJNS z územia Slovenska. Jednou z úloh budovania databázy ŠNS bolo aj spätné určenie polohových súradníc všetkých bodov z máp mierok 1:10 000 [2]. Takto získané súradnice sa uložili do databázy a používali sa napr. na

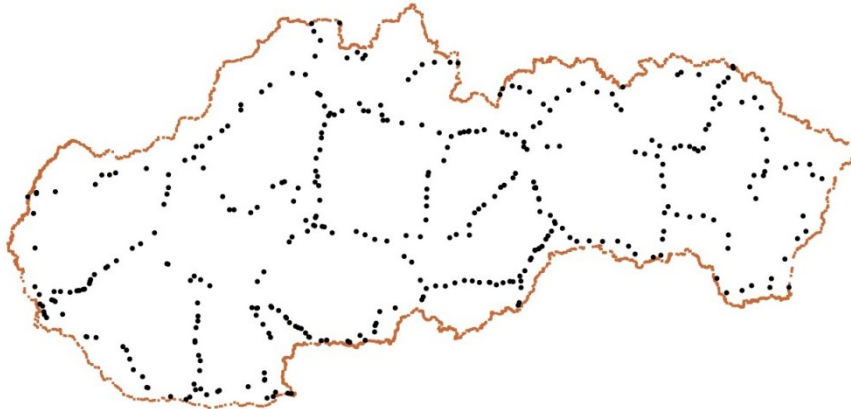
---

<sup>1)</sup> Ing. Ján Bublavý, Geodetický a kartografický ústav Bratislava, Chlumeckého 4, e-mail: [jan.bublavy@skgeodesy.sk](mailto:jan.bublavy@skgeodesy.sk)

Ing. Branislav Droščák, PhD., Geodetický a kartografický ústav Bratislava, Chlumeckého 4, e-mail: [branislav.droscak@skgeodesy.sk](mailto:branislav.droscak@skgeodesy.sk)

Ing. Monika Polláková, Geodetický a kartografický ústav Bratislava, Chlumeckého 4, e-mail: [monika.pollakova@skgeodesy.sk](mailto:monika.pollakova@skgeodesy.sk)

interpoláciu Bouguerových anomálií z máp, aby následne slúžili na výpočet redukcií z tiažového zrýchlenia pri vyrovnávaní nových nivelačných meraní. Na danú úlohu sa takto určené polohové súradnice bodov ŠNS považovali za dostatočne presné a iba zriedkakedy sa preurčovali priamym meraním. Po príchode technológie GNSS sa pristupovalo čoraz častejšie k zameraniu polohových súradníc nivelačných bodov ŠNS priamym meraním, čím dochádzalo aj k ich zaradeniu do Štátnej priestorovej siete – trieda D, resp. trieda C (716 bodov ŠNS predstavuje aj základnú množinu bodov ŠPS triedy C). Do roku 2016 sa podarilo určiť technológiou GNSS približne 6100 bodom ŠNS 1. a 2. rádu presné polohové súradnice. Polohová presnosť elipsoidických súradníc v prípade bodov ŠPS triedy D (body určené metódou sieťového RTK) bola stanovená empiricky na  $\sigma_\varphi = 17,5$  mm,  $\sigma_\lambda = 11,5$  mm. Pre porovnanie, presnosť kartometricky určených polohových súradníc ostatných bodov ŠNS bola odhadnutá na  $\sigma_x = 15$  m a  $\sigma_y = 15$  m. Na potvrdenie týchto hodnôt bolo vykonané porovnanie na množine 374 bodov ŠNS, ktoré mali kartometricky odpichnuté súradnice a zároveň boli zamerané aj technológiou GNSS. Dosiahnutá štandardná odchýlka v jednotlivých súradniciach v systéme S-JTSK dosiahla hodnoty  $\sigma_y = 14,29$  m a  $\sigma_x = 14,41$  m, čím boli prakticky potvrdené predpokladané hodnoty. Grafické znázornenie vybranej množiny bodov 1. rádu ŠNS použitých na stanovenie charakteristík presnosti kartometricky odsunutých polohových súradníc bodov ŠNS sa nachádza na obr. 1.



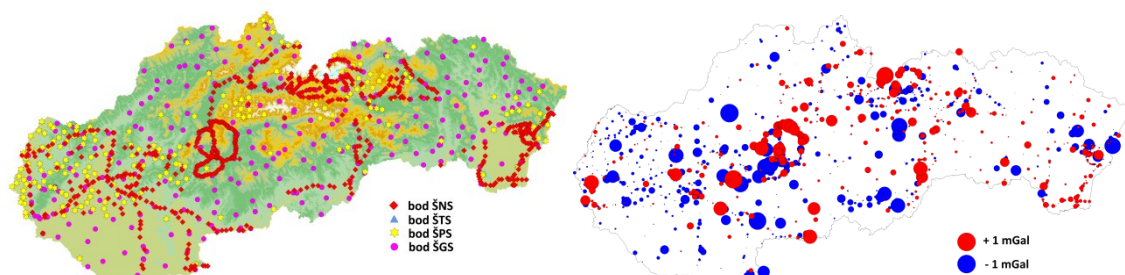
Obr. 1. Množina bodov použitá na stanovenie presnosti kartometricky odsunutých polohových súradníc bodov ŠNS

### 3 Vplyv (ne)presnosti polohových súradníc bodov ŠNS

Zvýšenie presnosti určenia polohových súradníc bodov ŠNS má v praxi viacero možností využitia. Napríklad, vyhľadávanie nivelačných bodov (najmä kameňov) v extraviláne sa niekedy končí výsledkom „bod nenájdený“, čo sa pri spresní ich polohových súradníc na centimetrovú, prípadne decimetrovú úroveň určite eliminuje. V súčasnosti správca geodetických základov SR (GKÚ Bratislava) taktiež zvažuje legislatívne zlepšiť ochranu bodov ŠNS, na čo je nevyhnutné poznať priestorovú polohu bodov s katastrálnou presnosťou. Najvýznamnejší dôvod potreby poznania vysokej polohovej presnosti nivelačných bodov ŠNS predstavuje úloha výpočtu novej realizácie výškového systému na Slovensku. V rámci tejto úlohy sa polohy bodov ŠNS využívajú napr. pri generovaní rôznych parametrov vstupujúcich do výpočtu redukcií alebo opráv k nameraným prevýšeniam. Z tohto pohľadu je preto poznanie polohy bodov ŠNS veľmi významné. Takýto typický príklad reprezentuje generovanie tiažového zrýchlenia pre polohy bodov ŠNS pomocou programu CBA2G\_SK [3]. Program CBA2G\_SK využíva na interpoláciu hodnôt tiažového zrýchlenia pre ľubovoľnú polohu bodu ŠNS grid úplných Bouguerových anomálií (ďalej UBA), ktorý vznikol na podklade ešte v rámci Československa vykonaného gravimetrického mapovania v mierke 1:25 000, ktorý bol následne v rámci projektu doplnený o všetky nové dostupné merania.

Podrobný popis programu CBA2G\_SK spolu s použitými matematickými vzťahmi sa nachádza v [3].

Ako prvá bola otestovaná vhodnosť programu CBA2G\_SK na úlohu generovania tiažového zrýchlenia pre body ŠNS namiesto jej priameho určovania meraním. Otestovanie vhodnosti programu CBA2G\_SK na generovanie tiažového zrýchlenia pre všetky body ŠNS bolo vykonané na 1316 bodoch ŠPS, ŠGS, ŠNS a ŠTS (obr.2 vľavo), na ktorých bola známa hodnota tiažového zrýchlenia určená priamym meraním tiažového zrýchlenia relatívnymi gravimetrami. Štandardná odchýlka rozdielov na uvedených bodoch dosiahla vynikajúcu hodnotu 0,2122 mGal a len v zriedkavých prípadoch rozdiel prekročil hodnotu 1 mGal (obr. 2 vpravo).



Obr. 2. Testovacia množina bodov ŠPS, ŠNS, ŠGS a ŠTS (vľavo) a dosiahnuté rozdiely medzi priamo meraným a generovaným tiažovým zrýchlením z programu CBA2G\_SK (vpravo).

Napriek kvalitným výsledkom štandardnej odchýlky a rozdielov, bolo rozhodnuté vykonať na bodoch ŠNS, ktoré vstúpili do otestovania aj test vplyvu (ne)presnosti ich polohových súradníc na vygenerovanú hodnotu tiažového zrýchlenia. V tab. 1 je uvedený vplyv zmeny polohových súradníc bodov ŠNS vstupujúcich do generovania tiažového zrýchlenia programom CBA2G\_SK pri uvažovaní ich posunu v jednotlivých smeroch súradnicových zložiek o 15 m ( $1\sigma$ ), resp. 45 m ( $3\sigma$ ) a taktiež zobrazuje jej závislosť na nadmorskej výške. Zelenou farbou je vyznačený vplyv zmeny polohy bodov ŠNS o 45 m v smere súradnicových osí x a y. Neznalosť presnej polohy v tomto prípade môže spôsobiť až tretinové zhoršenie priemernej hodnoty rozdielov priamomeraného a generovaného tiažového zrýchlenia, čo sa môže prejaviť pri výpočte redukcií. Červenou farbou v tab. 1 je vyznačený najväčší vplyv zmeny polohy bodov ŠNS na tiažové zrýchlenie, ktorý môže byť dosiahnutý pri zmene polohy bodov ŠNS o 45 m v smere súradnicovej osi y a pri nadmorských výškach bodov ŠNS nad 1000 m.

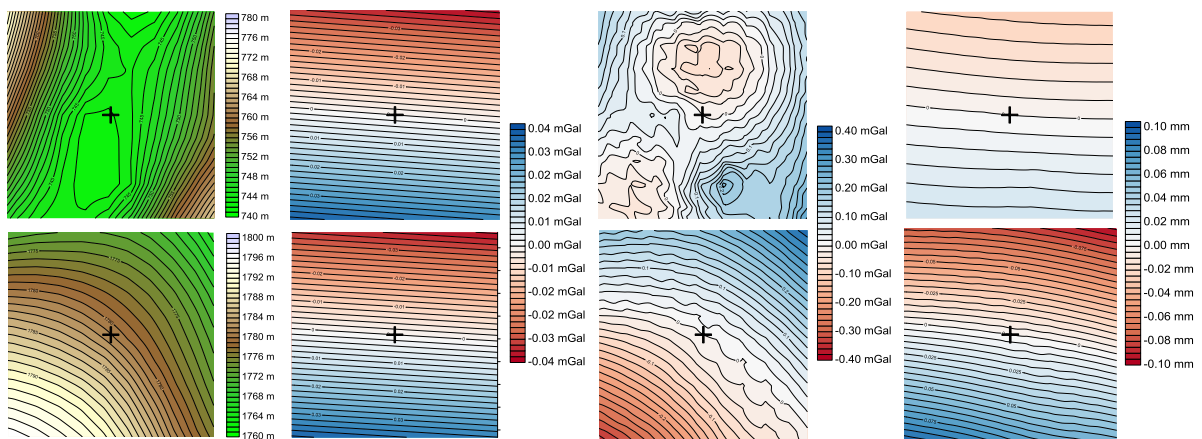
Tab. 1. Vplyv zmeny polohových súradníc bodov ŠNS na generované tiažové zrýchlenie softvérom CBA2G\_SK (priemerné hodnoty rozdielov tiažového zrýchlenia = merané – generované)

Súradnicová zložka (nadmorská výška)	Počet hodnôt	$\Delta$ posun v polohe + 0 m [mGal]	$\Delta$ posun v polohe + 15 m [mGal]	$\Delta$ posun v polohe + 45 m [mGal]
x	595	0,15	0,15 + 0,02	0,15 + <b>0,05</b>
y	595	0,15	0,15 + 0,02	0,15 + <b>0,05</b>
y (90 – 200 m.n.m)	224	0,14	0,14 + 0,01	0,14 + 0,04
y (200 – 1000 m.n.m)	345	0,16	0,16 + 0,02	0,16 + 0,05
y (nad 1000 m.n.m)	26	0,22	0,22 + 0,05	0,22 + <b>0,14</b>

V prípade zmeny polohových súradníc (do 45 m) jedného bodu ŠNS z nivelačného oddielu H31-535 – H31-536 alebo nivelačného oddielu I4-533 – I4-535 sa zmena prejaví po prepočítaní v zmene nadmorskej výšky koncových bodov ŠNS o hodnoty:

H31-535 – H31-536	-0,029 mm – 0,029 mm,
I4-533 – I4-535	-0,096 mm – 0,094 mm,

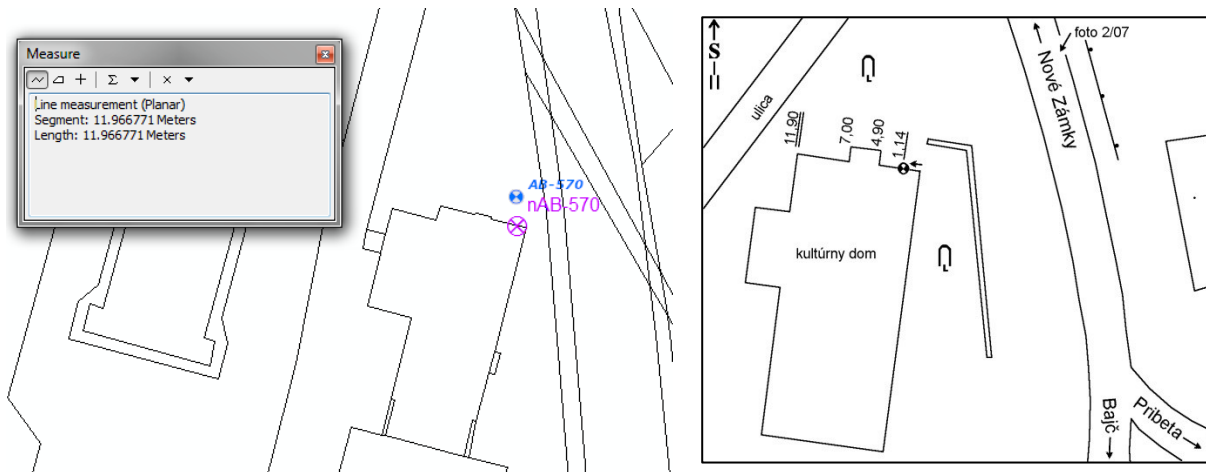
ktoré sú graficky uvedené aj na obr. 3. Vo všetkých prípadoch ide o nezanedbateľné hodnoty, ktorých veľkosť je porovnateľná s inými štandardne používanými opravami a korekciami používanými pri spracovaní nivelačných meraní VPN, akými sú oprava z excentricity stanoviska, oprava z rozťažnosti invarového pásu laty, oprava z mierkového koeficientu nivelačnej laty, atď..



Obr. 3. Vplyv zmeny polohových súradníc bodov ŠNS ( $\pm 45$  m v rovine S- JTSK) na výpočet normálneho tiažového zrýchlenia  $\gamma_0$ , interpolovaného tiažového zrýchlenia  $g$  (CBA2G\_SK) a na výpočet nadmorskej výšky. Prvý riadok sa vzťahuje na oddiel H31-535 – H31-536 a druhý riadok na oddiel I4-533 – I4-535. Na obrázku sú zobrazené izočiarly zmeny DMR,  $\gamma_0$ ,  $g$  a  $\Delta H$  v oblasti do 45 m od určovaného bodu ŠNS.

#### 4 Úloha zvýšenia presnosti polohových súradníc bodov ŠNS

Zvyšovanie presnosti polohových súradníc bodov ŠNS bolo realizované v dvoch spôsoboch. Prvý spôsob pozostával z skonštruovania a odsunutia presných polohových súradníc bodov ŠNS v prostredí softvéru ArcGis pri využití dostupných vektorových vrstiev VKM (obr. 4) a ZBGIS (obr. 5). Otestované bolo aj použitie na tento účel vektorovej a rastrovej Jednotnej železničnej mapy (ďalej JŽM), ktorej správcom je Stredisko železničnej geodézie Železníc Slovenskej republiky. Metodika konštruovania a odsúvania polohových súradníc vychádzala z identifikácie objektu na je umiestnený nivelačný bod ŠNS, z vykonštruovania správnej polohy bodu ŠNS pomocou konštrukčných omerných mier uvedených v miestopise bodu ŠNS a z uloženia jeho nových polohových súradníc do databázy. Takouto formou boli skonštruované a určené nové súradnice bodov ŠNS nachádzajúcich sa najmä na budovách a iných objektoch, ktoré sú predmetom presného merania vo vrstvách VKM, ZBGIS, alebo mapových listoch JŽM.



Obr. 4. Ukážka konštruovania správnej polohy bodu AB-570 na základe porovnania omerných mier na bode a v miestopise. Podkladovú vrstvu predstavuje VKM (kód kvality = 1, kód mierky podkladovej mapy = 1).

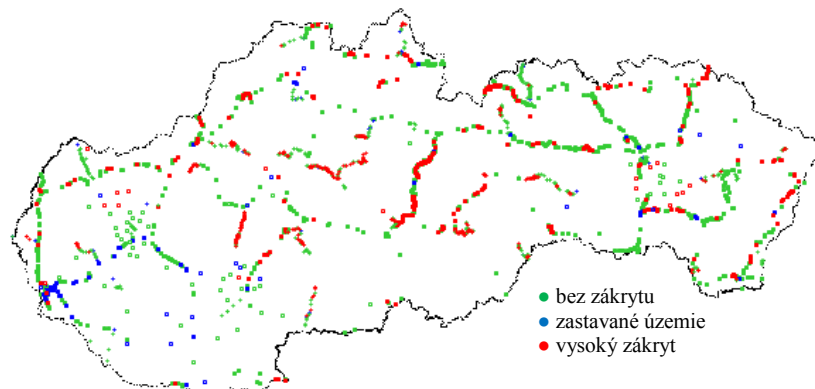


Obr. 5. Ukážka konštruovania správnej polohy bodu AB-589 na základe porovnania omerných mier na bode a v miestopise. Podkladovú vrstvu predstavuje ZBGIS – vrstva Budovy.

Uvedeným spôsobom sa podarilo v období september 2015 až február 2017 vykonštruovať a určiť súradnice 5646 bodom 1. rádu ŠNS z celkového počtu 11048 bodov a 13969 bodom 2. rádu ŠNS z celkového počtu 25671 bodov.

Druhý spôsob spresňovania polohových súradníc bodov ŠNS predstavoval určovanie polohových súradníc ich priamym meraním. Počas rokov 1995 až 2016 bolo počas terénnych prác pracovnými skupinami odboru GZ GKÚ Bratislava zameraných priamym meraním viacero nivelačných bodov ŠNS. V rokoch 1998 až 2000 boli zamerané presné polohy bodov ŠNS najmä metódou polygónových ťahov. Súradnice touto metódou boli určené 3275 bodom (1. a 2. rádu ŠNS). Ako pripájacie a orientačné body pre polygónové ťahy boli použité body ŠNS určené technológiou GNSS (219 bodov). V apríli 2017 sa pristúpilo k ďalšiemu priamemu meraniu polohových súradníc bodov ŠNS metódami GNSS za účelom ich využitia pri výpočte novej realizácie výškového systému na Slovensku. Po zanalyzovaní časovej a ekonomickej náročnosti boli zaradené na priame meranie všetky body 1. rádu ŠNS, ktorých polohové súradnice nebolo možné určiť pomocou vrstiev VKM a ZBGIS a vybrané body 2. rádu, ktoré sú súčasťou nivelačných ťahov zabezpečujúcich pripojenie bodov Slovenskej priestorovej observačnej siete (SKPOS) a Slovenskej geodynamickej referenčnej siete (SGRN) na body 1. rádu ŠNS. Na základe uvedených podmienok obsahovala množina na

domeranie 2394 bodov ŠNS. Na domeranie presných polohových súradníc bolo zároveň zaradených aj 119 bodov ŠGS, ktoré taktiež nemali určené presné polohové súradnice v databáze Informačného systému geodetických základov.. Grafické zobrazenie množiny bodov ŠNS a ŠGS určených na domeranie sa nachádza na obr. 6.



Obr. 6. Množina bodov ŠNS (2394) + ŠGS (119) určená na priame meranie polohových súradníc v roku 2017

Metodika určovania presných polohových súradníc bodov ŠNS a ŠGS vychádza zo skúseností z určovania polohových súradníc bodov ŠPS triedy D. Na meranie bola využitá metóda RTN (sieťové RTK) s využitím SKPOS, s dĺžkou observácie min. 2x2 minúty, kde rozdiel medzi meraniami nesmel prekročiť krajnú odchýlku stanovenú pre polohu  $\Delta_p = 0,030$  m a pre výšku  $\Delta_h = 0,055$  m. Dve nezávislé merania boli vykonávané s časovým odstupom minimálne 20 minút, optimálne 1 hodina. V prípade použitia statickej metódy bola doba observácie stanovená na hodnotu minimálne 20 min. a to v závislosti od veľkosti zákrytu. Výpočet statických meraní prebiehal v prostredí firemného softvéru s pripojením na Virtuálne referenčné stanice generované z SKPOS. Metodika merania a spracovania údajov GNSS vychádzala zo smernice na prácu s SKPOS [4]. Okrem priameho postavenia aparatury GNSS naurčovanom bode bolo možné použiť aj excentrické postavenia aparatury GNSS v kombinácii s pretínaním vpred z dĺžok, ktoré boli určované diaľkometermi Leica DISTO D510, s cieľením na centricky urovnané terče postavené nad bodmi ŠNS, alebo ŠGS. Priamym domeraním sa z naplánovaného počtu bodov podarilo zmerať 1963 bodov ŠNS a ŠGS. 380 bodov bolo na základe rekognoskácie označených ako zničené a 153 bodov nebolo nájdených. Priamym postavením sa na určovaný bod metódou RTN bolo zameraných 748 bodov a statickým meraním taktiež 746 bodov. S využitím excentrických stanov a metódy pretínania napred z dĺžok pomocou RTN bolo určených 432 bodov a s využitím statického merania 35 bodov.

## 5 Určenie charakteristík presnosti nových polohových súradníc bodov ŠNS

Na určenie charakteristík presnosti polohových súradníc bodov ŠNS určených skonštruovaním a uložením za pomoci podkladových vrstiev VKM a ZBGIS boli využité súradnice týchto bodov určené aj priamym meraním v teréne prostredníctvom technológie GNSS, resp. z výsledkov súradníc získaných meraním metódou polygónových ťahov. V tabuľke č. 2 nižšie sú uvedené priemerné hodnoty týchto rozdielov v polohe a ich štandardné neistoty, roztriedené podľa typu a kvality použitých podkladových vrstiev VKM ZBGIS.

Tab. 2. Štatistické údaje o porovnaní vykonštruovanej a priamo určenej polohy bodov ŠNS

	Počet bodov n	Polohový rozdiel $\Delta$ (novourčené – merané) [m]	Štandardná neistota $\sigma$ [m]	<1. $\sigma$ [%]	<2. $\sigma$ [%]	<3. $\sigma$ [%]
E-P	636	0.07	0.05	83.8	94.8	99.5
P - VKM1	412	0.13	0.07	82.3	95.9	100.0
P - VKM3	745	0.93	0.87	83.5	93.7	99.2
P - ZBGIS	143	1.12	0.69	81.8	95.1	100.0
E - ZBGIS-P	346	8.16	4.19	85.8	94.5	97.1
P - ZBGIS-P	195	7.34	2.85	81.5	96.4	100.0
E - ZBGIS-S	32	1.65	1.12	81.3	93.8	100.0

*E* – meranie metódou RTN, resp. statickým meraním, *P* – polygónové meranie, *VKM1* – číselná VKM, *VKM3* - nečíselná VKM, *ZBGIS* – vrstva Budova, Most, *ZBGIS-P* – vrstva Priepust, *ZBGIS-S* – vrstva Stĺp

Na základe údajov uvedených v tab.2 môžeme konštatovať, že využitím vrstiev ZBGIS a VKM došlo k výraznému spresneniu polohových súradníc bodov ŠNS v databáze ISGZ oproti pôvodnej presnosti 15 m na presnosť takmer do 1,5 m. Túto presnosť významne presahovali súradnice bodov ŠNS získané pomocou vrstvy ZBGIS – priepust, preto boli všetky body 1. rádu ŠNS určené pomocou tejto ZBGIS vrstvy (v tab. č. 2 zvýraznené šedou farbou) zaradené na domeranie priamym meraním v rámci merania v roku 2017.

Charakteristiky presnosti polohových súradníc bodov ŠNS určovaných priamy meraním v teréne vychádzali zo štandardného výpočtu smerodajných odchýlok na základe vykonania dvoch meraní do stanovených krajných odchýlok pre polohu a výšku. Výsledné charakteristiky dosiahli rovnaké charakteristiky akými sú charakterizované aj body ŠPS triedy D čo predstavujú hodnoty  $\sigma_{\varphi} = 17,5$  mm,  $\sigma_{\lambda} = 11,5$  mm.

## 6 Záver

Príspevok sa venuje popísaniu stavu a spôsobu spresnenia polohových súradníc bodov ŠNS, ktoré dosahovali polohovú presnosť na úrovni 15 m, nakoľko ich poloha bola odsunutá kartometricky z máp mierok 1:10 000. Nástupom technológie GNSS a filozofie budovania integrovaného bodového poľa v rámci budovania nových geodetických základov Slovenska sa v ojedinelých prípadoch pristúpilo aj k priamemu určeniu polohových súradníc bodov ŠNS touto technológiou, prípadne ešte v deväťdesiatych rokoch 20. storočia aj k určeniu polohových súradníc prostredníctvom metódy polygónových ťahov. Nové úlohy, príkladom ktorých je aj výpočet novej realizácie výškového systému na Slovensku, vyžadujú poznanie podstatne presnejších polohových súradníc bodov ŠNS, ako sú k dispozícii, čo viedlo k úlohe ich spresnenia. V roku 2016 sa preto pristúpilo k tejto úlohe a pomocou priameho domerania, alebo využitia vrstiev ZBGIS, resp. VKM sa podarilo určiť presné polohové súradnice všetkým potrebným bodom ŠNS s presnosťou do 1,5 m.

## **Literatúra**

- [1] BUBLAVÝ, J., DROŠČÁK B.: Prvé kroky k novej realizácii výškového systému na Slovensku a stav kvázigeoidov. *Geodetické základy a geodynamika*, Kočovce, Október 6.-7., 2015.
- [2] BUBLAVÝ, J., MAJKRÁKOVÁ, M., Droščák B.: Stav tvorby novej národnej realizácie výškového systému Bpv. X. Medzinárodná vedecko-odborná konferencia *Geodézia, kartografia a geoinformatika 2017*, Bratislava, Október 10.-13., 2017
- [3] MARUŠIAK, I., MIKUŠKA, J., PAPČO, J., ZAHOREC, P., PAŠTEKA, R.: CBA2G\_SK (Complete Bouguer Anomaly To Gravity) program na výpočet tiažového zrýchlenia z úplnej Bouguerovej anomálie. *Popis programu*. Bratislava: G-trend, s.r.o., 2015.
- [4] SMERNICA NA VYKONÁVANIE GEODETICKÝCH MERANÍ PROSTREDNÍCTVOM SLOVENSKEJ PRIESTOROVEJ OBSERVAČNEJ SLUŽBY. Úrad geodézie kartografie a katastra SR, Geodetický a kartografický ústav Bratislava. Bratislava 2016. Dostupné na: [http://www.skgeodesy.sk/files/slovensky/ugkk/kataster-nehnutelnosti/technicke-predpisy-ine-akty-riadenia/smernica\\_na\\_vykonavanie\\_merani\\_skpos.pdf](http://www.skgeodesy.sk/files/slovensky/ugkk/kataster-nehnutelnosti/technicke-predpisy-ine-akty-riadenia/smernica_na_vykonavanie_merani_skpos.pdf)